



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0053758

(51)^{2020.01} H04B 1/00; H04B 1/16

(13) B

(21) 1-2021-01993

(22) 13/04/2021

(45) 25/11/2025 452

(43) 27/09/2021 402A

(73) 1. Trịnh Quang Kiên (VN)

Khoa Vô tuyến Điện tử - Học viện Kỹ thuật Quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, quận Bắc Từ Liêm, thành phố Hà Nội

2. Vũ Ngọc Anh (VN)

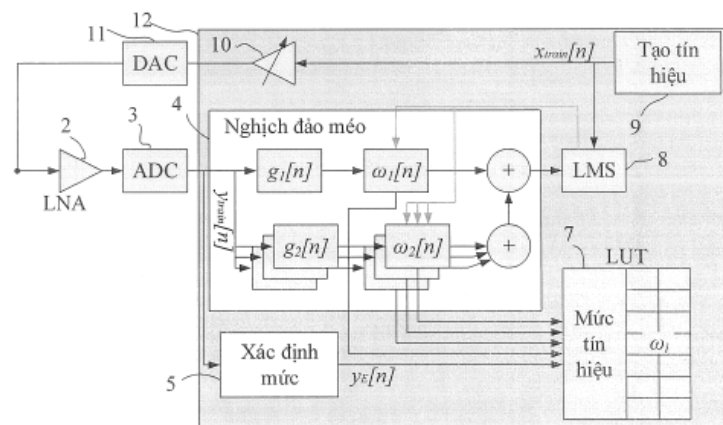
Khoa Vô tuyến Điện tử - Học viện Kỹ thuật Quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, quận Bắc Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) Trịnh Quang Kiên (VN); Vũ Ngọc Anh (VN); Trần Thị Hồng Thắm (VN); Lê Hải Nam (VN).

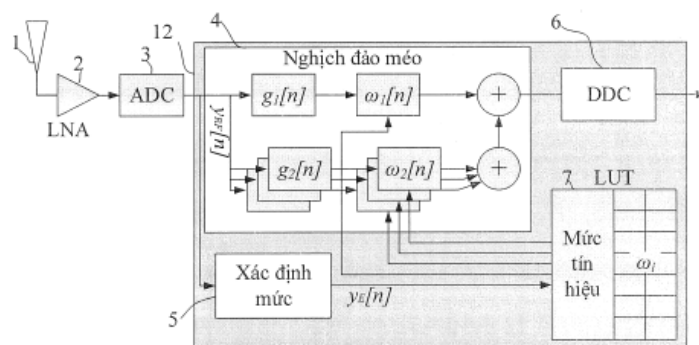
(54) MÁY THU ĐA KÊNH BẰNG RỘNG SỐ HÓA LẤY MẪU TRỰC TIẾP DRX (DIRECT RF SAMPLING RECEIVER) CÓ THỂ GIẢM MÉO DO PHI TUYẾN CỦA BỘ KHUẾCH ĐẠI TẠP ÂM THẤP DÙNG PHƯƠNG PHÁP HUẤN LUYỆN VÀ TRA BẰNG LUT (LOOK UP TABLE)

(21) 1-2021-01993

(57) Sáng chế triển khai thiết kế máy thu đa kênh băng rộng số hóa trực tiếp DRX, với mạch bù méo phi tuyến dựa trên tra bảng LUT. Bảng LUT được tạo ra trong chế độ huấn luyện của máy thu, tương ứng với mỗi mức năng lượng đầu vào, mạch huấn luyện sẽ làm việc để trích xuất các tham số của mô hình phi tuyến và lưu vào LUT. Bảng LUT sau đó được truy cập trong chế độ thu tín hiệu thực để bù các thành phần hài và xuyên nhiễu tạo ra bởi LNA. Hai chế độ cơ bản của máy thu DRX này là: chế độ huấn luyện (tạo tham số để lưu vào LUT) và chế độ thu tín hiệu thực. Hai chế độ này làm việc độc lập, sử dụng chung một mạch bù, giúp giảm yêu cầu thiết kế về mặt phần cứng cũng như yêu cầu về sử dụng năng lượng. Ngoài ra, việc lựa chọn chế độ thông qua bộ dồn kênh (multiplexer) giúp cho hai chế độ làm việc độc lập, không ảnh hưởng lẫn nhau. Kết quả phân tích được thể hiện trực quan bằng hình ảnh phổ năng lượng, giản đồ mắt và giản đồ chòm sao cùng với các tham số đánh giá chất lượng tín hiệu EVM, SNDR và các tham số tương tự.



(a)



(b)

Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp thực hiện giảm méo do phi tuyến của khuếch đại tạp âm thấp LNA (Low Noise Amplifier) trong máy thu lấy mẫu trực tiếp DRX (Direct RF sampling Receiver) làm việc trong chế độ đa kênh, băng rộng giúp nâng cao hiệu quả thu.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Hiện nay, DRX còn được gọi là máy thu định nghĩa bằng phần mềm/máy thu vô tuyến cấu hình mềm SDR (Software Defined Radio) lý tưởng là máy thu mà tín hiệu được xử lý hoàn toàn trong miền số. Bằng cách bỏ một số thành phần mạch tương tự, cấu trúc này cho phép máy thu hoạt động với băng tần rộng, thu đồng thời nhiều kênh trong khi vẫn duy trì thiết kế đơn giản và tiết kiệm chi phí. Bên cạnh đó, DRX không gặp phải một số vấn đề như trong các máy thu đổi tần trực tiếp DCR (Direct Converter Receiver) sử dụng bộ trộn cầu phương tương tự như lệch DC (DC offset), mất cân bằng hai kênh cầu phương IQ (IQ mismatch), méo phi tuyến (trộn, ADC). Dù vậy, Trong DRX LNA vẫn là thành phần không thể thiếu để khuếch đại các tín hiệu yếu (ví dụ: gần với mức nhiễu nền), đặc biệt là đối với bộ thu đa kênh và băng rộng. Do đó, DRX vẫn chịu tác động của méo phi tuyến của LNA. Méo phi tuyến xảy ra khi tổng năng lượng tín hiệu RF vào LNA cao hơn điểm giới hạn làm việc tuyến tính. Hai loại méo cơ bản là hài và xuyên điều chế sinh ra từ các kênh có năng lượng cao ảnh hưởng đến chính nó và các kênh khác. Mức độ phi tuyến của LNA phụ thuộc vào tổng năng lượng của tín hiệu vô tuyến nhận được, trong đó có các cả các kênh cần thu và không cần thu do đó đặc tính của nó là không xác định trước, đặc biệt là trong máy thu đa kênh và băng rộng.

Để giải quyết các tác động của méo phi tuyến LNA, một số nghiên cứu đã được thực hiện. Thông thường, méo được xử lý bằng cách lấy tín hiệu bị méo thu được trừ hoặc đảo cho méo được tái tạo hoặc tách ra từ tín hiệu gốc. Các thành phần gây méo có thể được tách hoặc tái tạo bằng cách sử dụng bộ lọc thông dải BPF (Band-pass filter) hoặc máy thu tham chiếu tuyến tính. Tuy nhiên, các giải pháp này có một số hạn chế thực tế, ví dụ, việc sử

dụng bộ lọc BPF chất lượng cao trong miền RF là khó khăn, thông tin tín hiệu được lọc phải được biết trước hoặc cấu trúc xử lý công kênh, méo được xử lý chỉ là các thành phần xuyên điều chế bậc lẻ gần kênh gây méo. Giải pháp khác sử dụng bảng tra LUT ở máy phát được áp dụng cho các bộ khuếch đại công suất và máy thu đơn kênh.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là khắc phục những hạn chế của các giải pháp trước đây, do đó các tác giả đề xuất thêm giải pháp mới để giảm méo phi tuyến của LNA trong DRX mà không cần sử dụng thêm máy thu tham chiếu.

Trong giải pháp này, đặc tuyến nghịch đảo méo của LNA được tính toán trước bởi một mô hình phi tuyến tích hợp sẵn trong máy thu. Máy thu cần thực hiện huấn luyện để tìm các tham số nghịch đảo đặc tuyến méo theo các mức tín hiệu khác nhau. Một tín hiệu chuẩn với các mức công suất thay đổi từ điểm làm việc tuyến tính đến vùng bão hòa của LNA được tạo ra dùng để huấn luyện. Đồng thời, thuật toán bình phương trung bình cực tiểu LMS (Least Mean Squares) được dùng tính toán các tham số để nghịch đảo đặc tính phi tuyến của LNA. Sau huấn luyện, các hệ số của mô hình phi tuyến và mức công suất tương ứng của tín hiệu được lưu trữ trong một bảng tra gọi là LUT (Look Up Table). Bảng này sẽ được truy cập trong quá trình thu để giảm méo phi tuyến tạo ra bởi LNA.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất máy thu đa kênh băng rộng số hóa lấy mẫu trực tiếp DRX (Direct RF sampling Receiver) có thể giảm méo do phi tuyến của bộ khuếch đại tạp âm thấp dùng phương pháp huấn luyện và tra bảng LUT (Look Up Table), cấu trúc máy thu này bao gồm:

anten thu để nhận tín hiệu vô tuyến từ không gian;

khối LNA để khuếch đại đồng thời nhiều kênh tín hiệu RF từ anten;

khối ADC để chuyển đổi tín hiệu RF dạng tương tự thành dạng số;

khối nghịch đảo méo cho mô hình phi tuyến để nghịch đảo méo (bao gồm cả các thành phần hài và xuyên điều chế);

khối xác định mức cho phép xác định mức năng lượng RF thu được để lựa chọn tham số phù hợp cho mô hình phi tuyến để nghịch đảo méo;

trong đó, khi sản xuất hoặc khi sửa chữa, cập nhật, máy thu được huấn luyện tìm tham số nghịch đảo méo cho bộ khuếch đại tạp âm thấp (LNA) theo mức tín hiệu RF theo các bước:

- bước 1: tạo tín hiệu RF dạng 2-tone có tần số nằm trong dải làm việc của máy thu,
- bước 2: chuyển tín hiệu số thành dạng tương tự bằng DAC sau đó đưa tới đầu vào LNA, và thay đổi mức trong toàn bộ vùng phi tuyến;
- bước 3: sử dụng mô hình phi tuyến kết hợp thuật toán LMS thực hiện tìm tham số nghịch đảo méo ứng với mức năng lượng tương ứng xác định được;
- bước 4: lưu tham số của mô hình phi tuyến vào bộ nhớ ứng với mức đầu vào tương ứng;

và trong đó, mạch bù méo phi tuyến dựa trên tra bảng LUT bao gồm: mô hình phi tuyến, mạch xác định mức, thực hiện giảm méo cho tín hiệu RF theo các bước:

- bước 1: xác định mức năng lượng tín hiệu RF,
- bước 2: lựa chọn tham số cho mô hình phi tuyến để nghịch đảo méo,
- bước 3: sử dụng mô hình phi tuyến với tham số được lựa chọn để thực hiện nghịch đảo méo cho tín hiệu RF.

Một số ưu điểm của giải pháp so với khi dùng máy thu tham chiếu là ít tốn kém hơn về chi phí phần cứng và tiêu thụ năng lượng, quá trình huấn luyện chỉ cần thực hiện khi cần thiết (sản xuất, thay linh kiện...), phương pháp có thể được thực hiện với các máy thu dải rộng và đa kênh.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ sơ đồ thực hiện huấn luyện (a) và thu (b) của giải pháp giảm méo sử dụng bảng tra LUT trong DRX.

Hình 2 là hình vẽ chia mức năng lượng đầu vào của tín hiệu để huấn luyện.

Hình 3 là hình vẽ thuật toán huấn luyện sử dụng mạch lọc thích nghi LMS.

Hình 4 là hình vẽ mô phỏng tín hiệu trước và sau khi giảm méo với kích thước LUT khác nhau.

Hình 5 là hình vẽ mô hình thử nghiệm giải pháp với bo mạch xử lý số tín hiệu.

Hình 6 là hình vẽ phổ tín hiệu huấn luyện tại đầu ra LNA.

Hình 7 là hình vẽ phổ tín hiệu trước và sau sửa méo.

Mô tả chi tiết sáng chế

Cấu trúc và hoạt động của máy thu DRX với sơ đồ bù méo sử dụng LUT

Cấu trúc của DRX có sửa méo do phi tuyến của LNA được thể hiện trong Hình 1, trong đó hình vẽ sơ đồ thực hiện huấn luyện (a) và thu (b) của giải pháp giảm méo sử dụng bảng tra LUT trong DRX.

Như được thể hiện trên Hình 1 (a), khi máy thu ở chế độ huấn luyện, các khối chức năng tham gia làm việc bao gồm khối khuếch đại tạp âm thấp (LNA) 2, khối chuyển đổi tương tự-số (ADC) 3, và khối xử lý tín hiệu số 12 bao gồm: khối nghịch đảo méo cho mô hình phi tuyến 4, khối xác định mức năng lượng tín hiệu 5, bảng tra mức tín hiệu 7, thuật toán LMS 8, bộ tạo tín hiệu tham chiếu 9, bộ điều chỉnh mức tín hiệu trong miền số 10 và bộ chuyển đổi tín hiệu số-tương tự 11. Để có tham số sửa méo, máy thu sử dụng một bộ tạo tín hiệu tham chiếu 9. Mức của tín hiệu tham chiếu được điều chỉnh mức trong miền số bởi bộ điều chỉnh mức 10 (Mức tín hiệu tham chiếu được thay đổi trong toàn bộ vùng phi tuyến cần xử lý từ điểm nén 1 dB đến gần vùng bão hòa) và chuyển thành tín hiệu tương tự thông qua khối DAC 11 sau đó đưa vào khối LNA 2 để tìm tham số sửa méo cho mô hình phi tuyến. Tại miền phi tuyến, mỗi mức năng lượng khác nhau của tín hiệu tham chiếu RF được đưa vào khối LNA 2 sẽ có các hệ số phi tuyến khác nhau. Các hệ số của mô hình phi tuyến ứng với mỗi mức tín hiệu tham chiếu RF sẽ được tìm dựa vào khối LMS 8 để nghịch đảo đặc tuyến méo của LNA 2. Các tham số nghịch đảo đặc tuyến méo của LNA 2 được lưu thành bộ nhớ dưới dạng bảng tra (LUT) của khối tra mức tín hiệu 7 để sử dụng sửa méo khi thu. Kết thúc quá trình huấn luyện, khi máy thu làm việc, mức năng lượng tín hiệu RF thu từ anten sẽ được kiểm tra để lựa chọn tham số nghịch đảo méo tương ứng để thực hiện nghịch đảo méo của LNA. Trong thực tế quá trình huấn luyện chỉ cần thực hiện lúc sản xuất máy hoặc lúc sửa chữa.

Mạch xử lý tín hiệu thu bao gồm anten 1, khối khuếch đại tạp âm thấp 2, khối chuyển đổi tương tự-số 3 và khối xử lý tín hiệu số 12 bao gồm: khối nghịch đảo méo cho mô hình phi tuyến 4, khối xác định mức năng lượng tín hiệu 5, khối chuyển hạ tần số 6 và khối tra mức tín hiệu 7. Khi thu, toàn bộ tín hiệu dải tần RF gồm nhiều kênh sóng mang với các dạng điều chế khác nhau trong giới hạn làm việc của máy thu từ anten 1 được khuếch đại bởi khối khuếch đại tạp âm thấp 2 và lọc trước khi đưa vào số hóa bằng khối ADC tốc độ cao 3. Tại khối xử lý tín hiệu số 12, tín hiệu RF sau khi số hóa được đưa vào khối nghịch đảo méo 4 để giảm méo. Đồng thời, mức năng lượng của tín hiệu RF cũng được xác định bằng khối xác định mức 5 để lựa chọn tham số nghịch đảo méo trong khối tra mức tín hiệu

7. Với mô hình phi tuyến và các tham số sử dụng, méo được nghịch đảo cho toàn bộ các kênh của tín hiệu RF. Tín hiệu RF sau khi xử lý méo được đưa tới khối chuyển hạ tần số 6 để chuyển xuống băng tần cơ sở cho các xử lý tiếp theo. Quá trình này lặp lại liên tục để đảm bảo rằng méo phi tuyến luôn được bù trong suốt quá trình thu tín hiệu. Méo được xử lý gồm cả thành phần hài và xuyên điều chế gây ra bởi tác động phi tuyến của LNA.

Trong thực tế, khối xử lý tín hiệu số 12 bao gồm các khối chức năng bên trong như nêu trên có thể được thực hiện và tích hợp trong một chip FPGA với các khối chức năng được thực hiện bằng phần mềm được lập trình trên FPGA này.

Huấn luyện tìm tham số nghịch đảo méo:

Để đơn giản, tín hiệu RF tham chiếu dạng 2-tone (bao gồm hai sóng sin tần số khác nhau) được tạo bên trong máy thu và chuyển đổi thành tín hiệu tương tự bằng bộ chuyển đổi số-tương tự (DAC). Với năng lượng đủ lớn thì sau LNA là tín hiệu RF tham chiếu bị méo. Tín hiệu RF tham chiếu sau LNA được so sánh với tín hiệu gốc bên trong máy thu, sự sai khác của 2 tín hiệu kết hợp thuật toán LMS để tìm các hệ số và nghịch đảo méo cho tín hiệu RF.

Độ chính xác cho xử lý méo phụ thuộc vào kích thước khoảng chia vùng huấn luyện. Việc chia vùng huấn luyện thành nhiều khoảng sẽ làm tăng độ chính xác khi xử lý. Điều này được thể hiện qua kết quả mô phỏng trong Hình 4. Kết quả thực hiện cho thấy với khoảng chia 16 khả năng giảm méo là kém nhất và méo được giảm mạnh với khoảng chia là 64.

Tập hợp các tham số mô hình phi tuyến khi đạt hội tụ và mức năng lượng đầu vào tương ứng được lưu trong bộ nhớ. Các tham số này sẽ được sử dụng để khôi phục tín hiệu ban đầu từ tín hiệu bị méo trong quá trình thu.

Thuật toán huấn luyện:

Trong quá trình huấn luyện, tín hiệu RF tham chiếu được dùng để tìm các hệ số nghịch đảo đặc tuyến méo của LNA. Cách chia mức năng lượng RF vào LNA để huấn luyện được thể hiện trong Hình 2. Đối với mỗi mức, một tập hợp các tham số nghịch đảo đặc tuyến méo của LNA được xác định khi LMS hội tụ. Sơ đồ thuật toán LMS được thể hiện chi tiết trong Hình 3.

Tín hiệu RF huấn luyện sau LNA $y_{train}(n)$ được đưa đến mạch bù phi tuyến trong khi tín hiệu RF gốc $x_{train}(n)$ được đưa tới mạch LMS để điều chỉnh các hệ số

$$w_i(n) \cdot \hat{x}_{train}(n) = F_{INV}(y_{train}(n)) = F_{INV}(x_{train}(n) + e(n)) \quad (1)$$

Trong đó F_{INV} là mô hình toán học của hàm nghịch đảo. Khi $\hat{x}_{train}$ hội tụ đến $x_{train}(n)$ ban đầu thì F_{INV} hội tụ tới hàm nghịch đảo của LNA, F_{LNA}^{-1} . Do đó, tín hiệu ra sau bù $\hat{x}_{train}$ về lý thuyết chỉ còn đa số các thành phần tuyến tính là $x_{train}(n)$. Thành phần $e(n)$ được giảm bởi mô hình phi tuyến nghịch đảo méo.

Coi $g_i(x[n])$ là bậc thứ i của tín hiệu méo $y_{training}[n]$, ta có:

$$g_i(y_{train}[n]) = y_{train}^i[n], i = 1, 2, \dots, k \quad (2)$$

Đầu ra của mạch bù được biểu thị bằng

$$\hat{x}_{train}[n] = \sum_{i=1}^k \hat{w}_i[n] g_i(y_{train}[n]) \quad (3)$$

Đầu ra $\hat{x}_{train}[n]$ này được đưa trở lại khối LMS và được dùng để tính độ sai lệch tức thời $\hat{\varepsilon}[n]$

$$\hat{\varepsilon}[n] = x_{train}(n) - \sum_{i=1}^k \hat{w}_i[n] g_i(y_{train}[n]) \quad (4)$$

Các hệ số của LMS được thay đổi để giảm thiểu sai số bình phương $\hat{\varepsilon}[n]^2$ trong (4). Quá trình này được thực hiện bằng cách lấy sai lệch tức thời để điều chỉnh hệ số phi tuyến $\hat{w}_i[n]$

$$\hat{w}_i[n] = \hat{w}_i[n-1] + \mu_i f_i(y_{train}[n]) \hat{\varepsilon}[n] \quad (5)$$

Quá trình điều chỉnh tiếp tục cho đến khi tất cả các hệ số $\hat{w}_i[n]$ ổn định hoặc thay đổi trong ngưỡng mong muốn. Trong quá trình xấp xỉ, $\hat{x}_{train}[n]$ hội tụ tới đầu vào tham chiếu tuyến tính $x_{train}(n)$. Sau khi LMS hội tụ, tín hiệu đầu ra mạch bù $\hat{x}_{train}[n] \approx x_{train}(n)$. Tập hợp các tham số của mô hình phi tuyến sau khi LMS hội tụ và mức công suất đầu vào tương ứng được lưu trong bộ nhớ dưới dạng bảng tra (LUT). Các bộ tham số này sẽ được sử dụng để khôi phục tín hiệu gốc từ tín hiệu bị méo trong chế độ thu.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Một mô hình kiểm tra thực tế với bo mạch thu được triển khai như trong Hình 5. Tín hiệu huấn luyện dạng 2-tone tần số 5m3 MHz và 5,8 MHz có năng lượng thay đổi được tạo bên trong FPGA chuyển thành dạng tương tự bởi DAC và đưa tới LNA. Quá trình huấn

luyện được thực hiện với 16 khoảng chia. Hình 6 cho thấy phổ đầu ra của LNA trên máy phân tích phổ khi thay đổi mức tín hiệu huấn luyện với các mức -35 dBm (Hình 6.a) -29 dBm (Hình 6.b) -23 dBm (Hình 6.c) và -17 dBm (Hình 6.d). Kết quả cho thấy thành phần méo tạo ra của LNA thay đổi cùng với sự thay đổi của mức tín hiệu đưa vào. Tín hiệu sau LNA được số hóa, đưa vào FPGA và truyền lên máy tính để huấn luyện. Các tham số của mô hình phi tuyến ứng với mức huấn luyện phát hiện được lưu thành bảng tra kích thước 16 tập giá trị khác nhau. Trong đó, đầu vào bảng tra là mức thu và đầu ra là các hệ số nghịch đảo méo.

Để đánh giá kết quả huấn luyện, bốn kênh RF điều chế QPSK được dùng làm đầu vào cho LNA. Trong đó, kênh Ch4 có năng lượng nhỏ hơn khoảng 30 dB so với các kênh còn lại và là kênh bị ảnh hưởng nghiêm trọng nhất bởi méo phi tuyến của LNA. Các thành phần gây nhiễu lên kênh Ch4 bao gồm cả hài bậc hai của kênh Ch1 và xuyên điều chế bậc ba của kênh Ch2 với kênh Ch3. Méo càng nghiêm trọng khi tăng mức năng lượng RF.

Kết quả xử lý được thể hiện bằng cách so sánh phổ tín hiệu đã truyền và tín hiệu sau khi xử lý. Hình 7 thể hiện kết quả mô phỏng bằng phần mềm Matlab của tín hiệu trước và sau khi xử lý với các mức đưa vào khuếch đại là -35 dBm (Hình 7.a) -29 dBm (Hình 7.b) -23 dBm (Hình 7.c) và -17 dBm (Hình 7.d). Hình 8 thể hiện kết quả xử lý trên máy đo cho tín hiệu thực với các mức đưa vào khuếch đại là -35 dBm (Hình 8.a) -29 dBm (Hình 8.b) -23 dBm (Hình 8.c) và -17 dBm (Hình 8.d). Có thể thấy sau khi xử lý, các thành phần hài và xuyên điều chế đều giảm gần với nhiễu nền. Tham số EVM của kênh thu Ch4 ứng với mỗi mức năng lượng vào RF khác nhau đều được cải thiện như thể hiện trong Bảng I. Kết quả cho thấy trong trường hợp một kênh thu bị ảnh hưởng đồng thời bởi nhiều thành phần méo khác nhau (hài và xuyên điều chế) thì giải pháp vẫn cho hiệu quả.

BẢNG I. ĐỘ CẢI THIỆN THAM SỐ EVM CỦA KÊNH THU CH4 SAU XỬ LÝ.

Mức năng lượng tín hiệu cao tần đầu vào LNA (dBm)	-35	-29	-23	-17
Mức cải thiện EVM kênh thu Ch4 (dB)	6,5%	8,1%	17,7%	27,6%

Hiệu quả đạt được bởi sáng chế

Giải pháp xử lý méo giúp cho máy thu làm việc trong chế độ thời gian thực, chế độ huấn luyện của máy thu làm việc độc lập và không gây ảnh hưởng đến hiệu quả của quá trình thu và bù méo. Giải pháp có thể xử lý méo phi tuyến bao gồm tất cả các hài và xuyên

điều chế, méo được giảm cho các kênh ở gần và ở cách xa kênh gây méo chất lượng của các tín hiệu của các kênh thu, đặc biệt là các kênh năng lượng nhỏ được cải thiện đáng kể.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Máy thu đa kênh băng rộng số hóa lấy mẫu trực tiếp DRX (Direct RF sampling Receiver) có thể giảm méo do phi tuyến của bộ khuếch đại tạp âm thấp dùng phương pháp huấn luyện và tra bảng LUT (Look Up Table), cấu trúc máy thu này bao gồm:

anten thu để nhận tín hiệu vô tuyến từ không gian;

khối LNA để khuếch đại đồng thời nhiều kênh tín hiệu RF từ anten;

khối ADC để chuyển đổi tín hiệu RF dạng tương tự thành dạng số;

khối nghịch đảo méo cho mô hình phi tuyến để nghịch đảo méo (bao gồm cả các thành phần hài và xuyên điều chế);

khối xác định mức cho phép xác định mức năng lượng RF thu được để lựa chọn tham số phù hợp cho mô hình phi tuyến để nghịch đảo méo;

trong đó, khi sản xuất hoặc khi sửa chữa, cập nhật, máy thu được huấn luyện tìm tham số nghịch đảo méo cho bộ khuếch đại tạp âm thấp (LNA) theo mức tín hiệu RF theo các bước:

bước 1: tạo tín hiệu RF dạng 2-tone có tần số nằm trong dải làm việc của máy thu,

bước 2: chuyển tín hiệu số thành dạng tương tự bằng DAC sau đó đưa tới đầu vào LNA, và thay đổi mức trong toàn bộ vùng phi tuyến;

bước 3: sử dụng mô hình phi tuyến kết hợp thuật toán LMS thực hiện tìm tham số nghịch đảo méo ứng với mức năng lượng tương ứng xác định được;

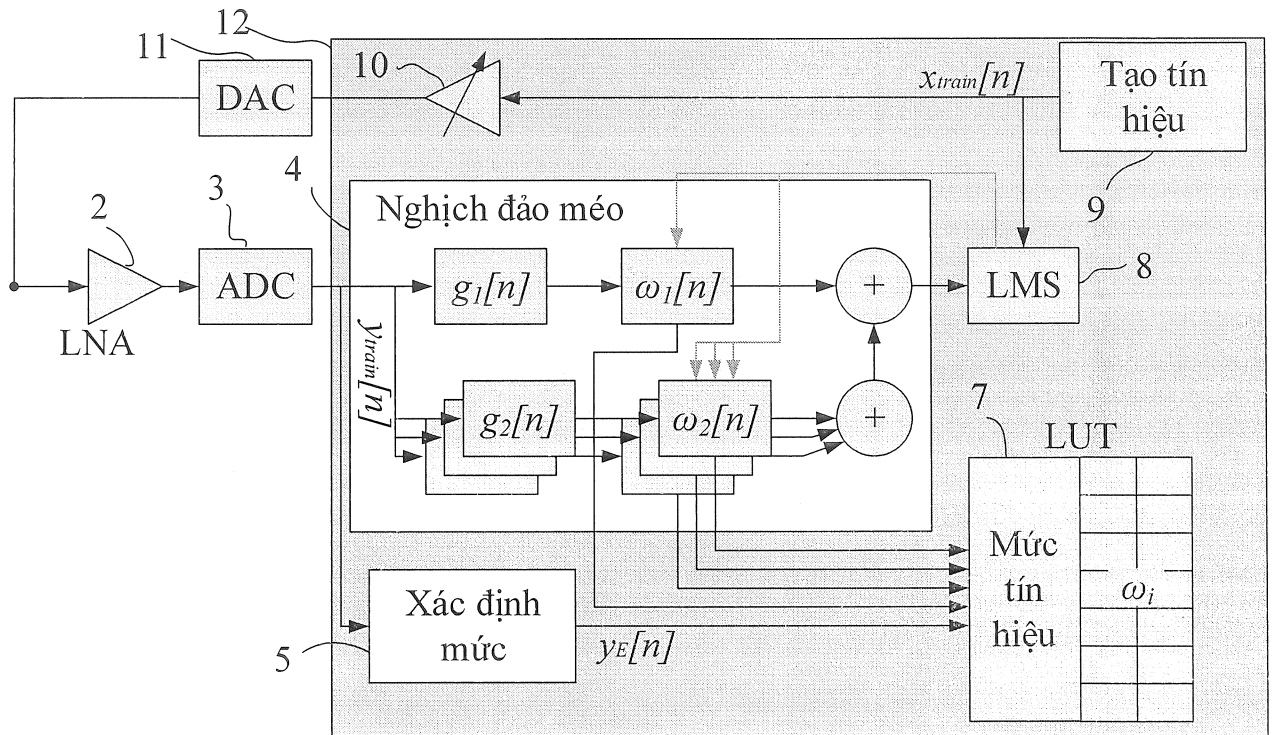
bước 4: lưu tham số của mô hình phi tuyến vào bộ nhớ ứng với mức đầu vào tương ứng;

và trong đó, mạch bù méo phi tuyến dựa trên tra bảng LUT bao gồm: mô hình phi tuyến, mạch xác định mức, thực hiện giảm méo cho tín hiệu RF theo các bước:

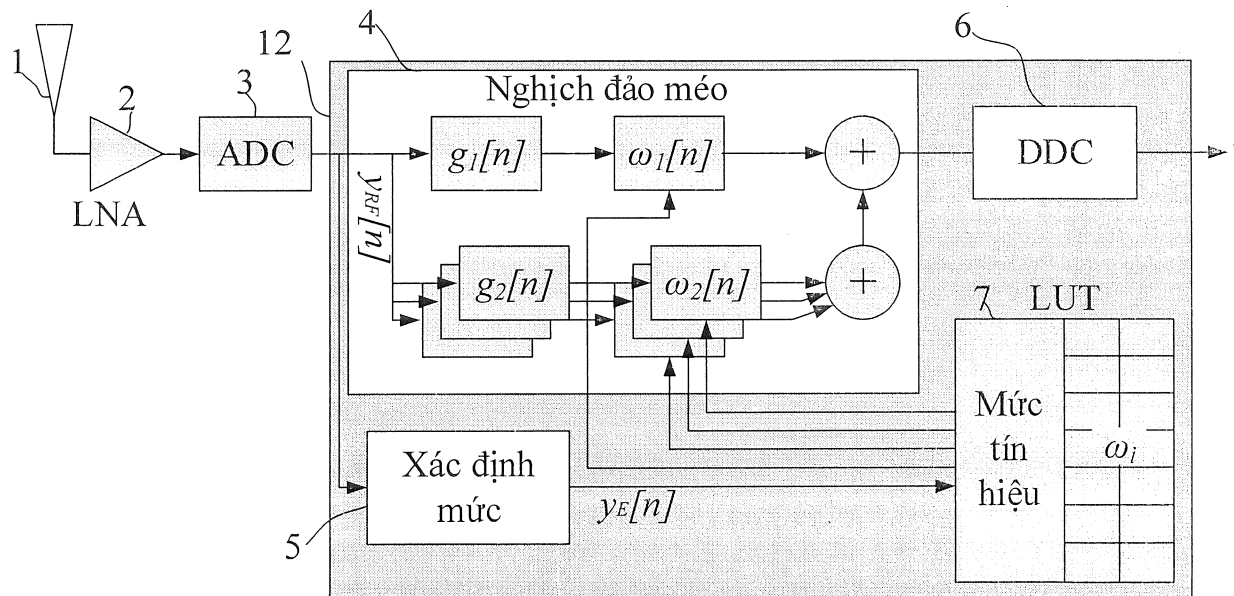
bước 1: xác định mức năng lượng tín hiệu RF,

bước 2: lựa chọn tham số cho mô hình phi tuyến để nghịch đảo méo,

bước 3: sử dụng mô hình phi tuyến với tham số được lựa chọn để thực hiện nghịch đảo méo cho tín hiệu RF.

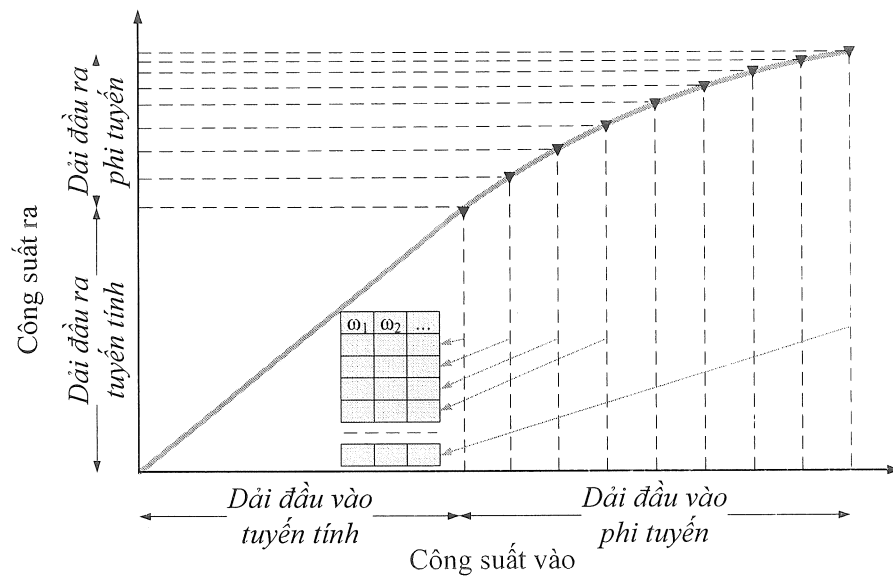


(a)

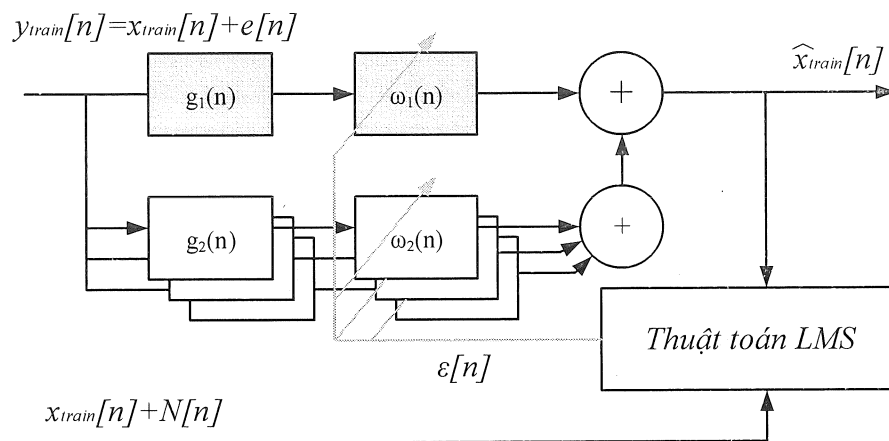


(b)

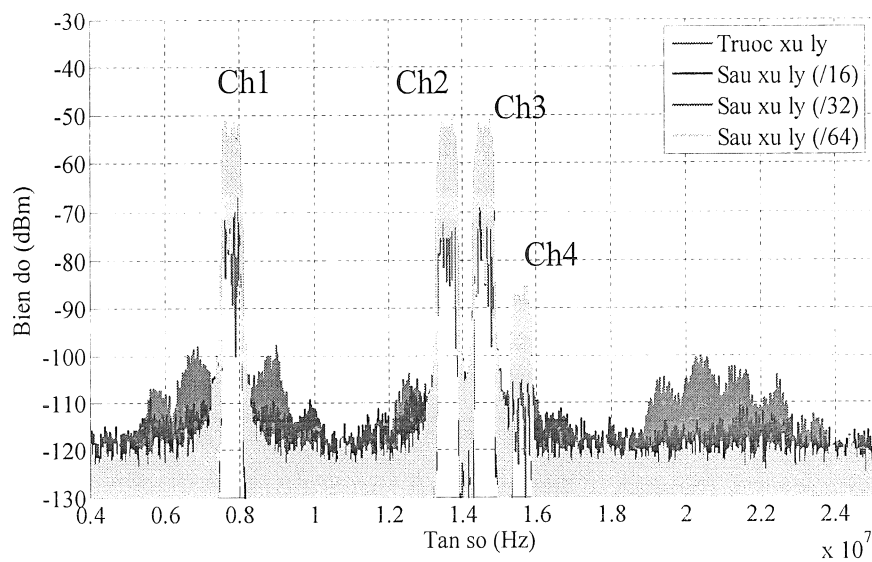
Hình 1



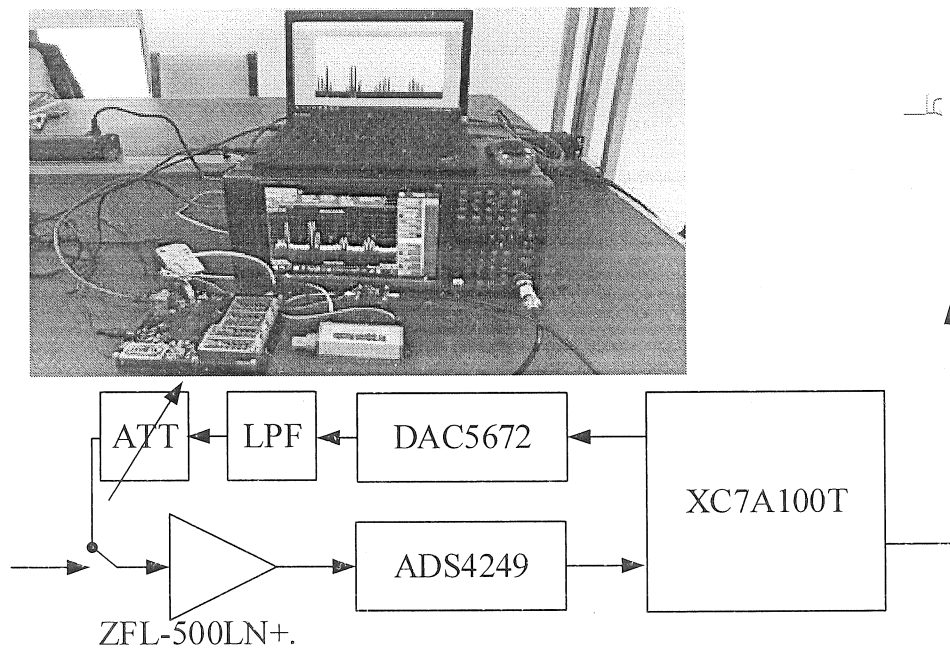
Hình 2



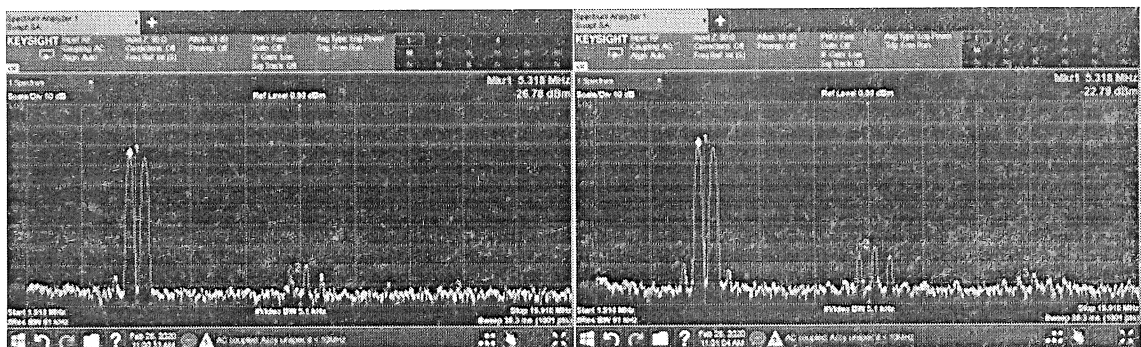
Hình 3



Hình 4

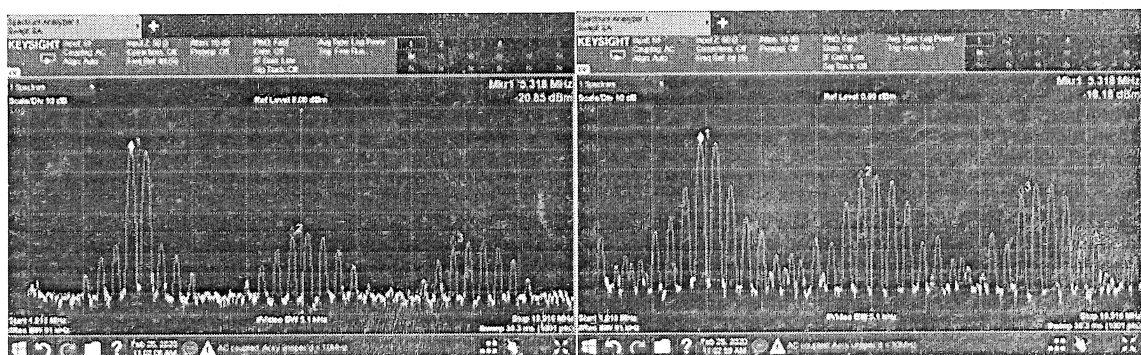


Hình 5



(a)

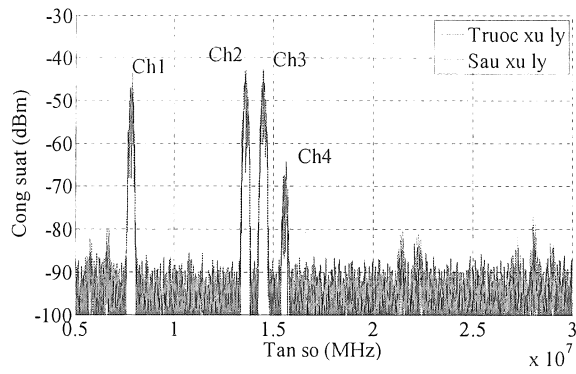
(b)



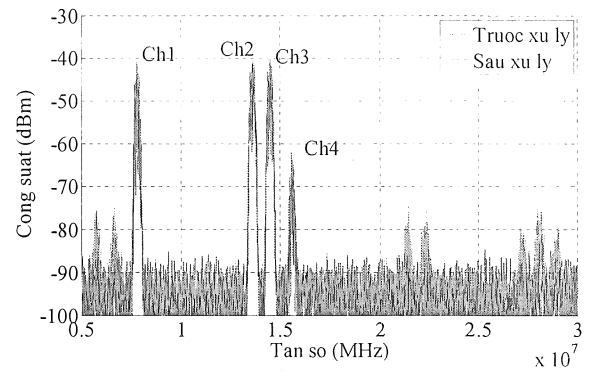
(c)

(d)

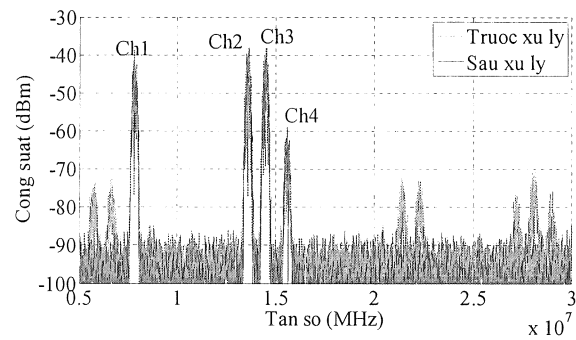
Hình 6



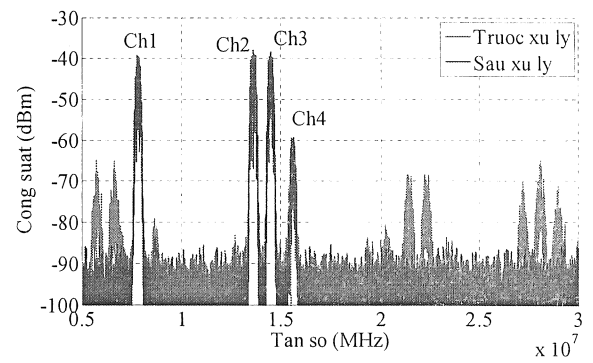
(a)



(b)

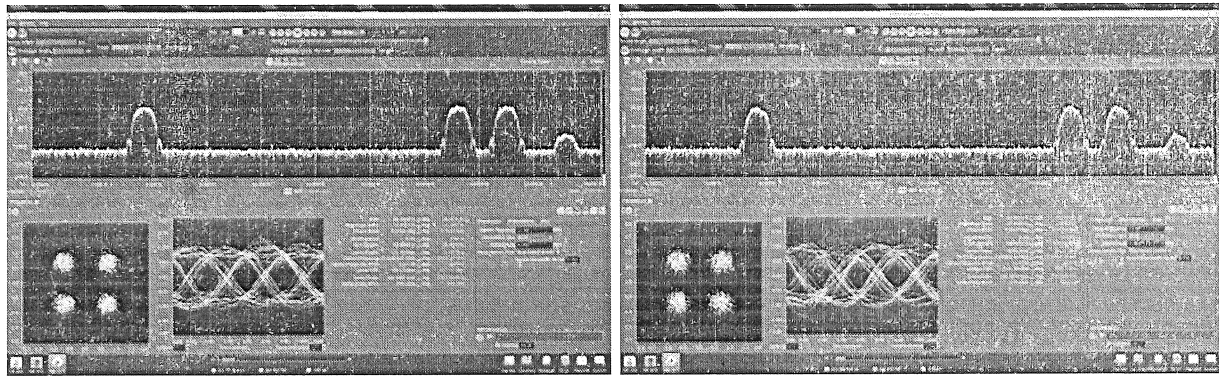
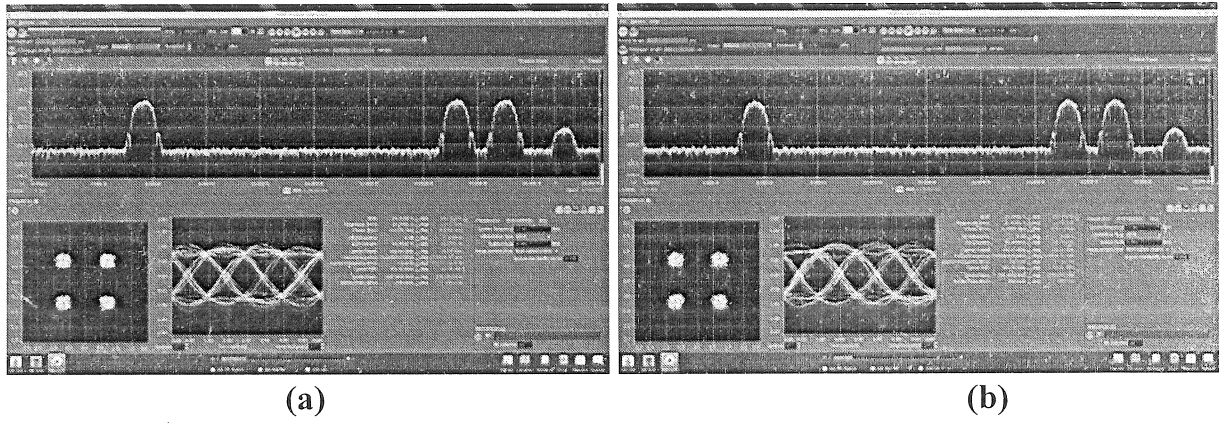


(c)



(d)

Hình 7



Hình 8